

東京大学工学部 正員 玉井 信行
 東京大学工学部 正員 浅枝 隆
 芝浦工業大学 正員 菅 和利
 芝浦工業大学大学院 久保 豊

1. はじめに

近年、ソーラーボンドによる熱エネルギーの貯留の実用化が試行されており、熱塩成層の特性が利用されている。このような熱塩成層の密度流現象は海洋、湖の自然現象において存在しており、この自然現象を利用する際には、熱的擾乱に加えて上層に存在する流れによるセン断力が界面に加わり複雑な混合現象が出現する。成層状態を安定化させようとする塩分分布と、不安定要因として働く温度分布が併せ存在するので対流が生じ、対流を促進させる不安定要因の熱と共に、対流を抑制しようとする塩分が同時に輸送される。Turnerは静止した淡塩2成層の底面から熱を加える実験を行い、界面を通過する熱量と塩分の輸送量について多くの知見を得ている。本研究では、上層にゆっくりとした流れの存在する場で、底板から一定の熱フラックスを与えて熱塩成層密度流の実験を行い、Turnerの結果との比較を行った。又熱的外乱に比べてセン断力が卓越しすぎないようにレイノルズ数の領域で実験を行った。

2. 実験装置及び方法

外壁には断熱材を付設して外界への熱損失を防止した水槽の底面にシリコンラバーヒーターを張り一定の熱量を加えるようにし、上層の密度境界面上に一方の流れを生じさせるように流入及び排水用のノズルを取りつけた装置を用いた。水槽の寸法は長さ148cm、高さ51.5cm、幅14cmである。下層全体に生じる対流を防止する為に金網を配置し、又上層流れを層流状態にするように、ノズルに格子を設置した。初めに着色した塩水と水槽の所定の高さまで満たし、流入ノズルより一定淡水量を流入して定常状態になった後に底板より下層に一定熱フラックス $5.44 \times 10^{-2} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ と与えた。上層、下層で水温、塩分濃度、流速をサーミスター・リニアライザー、電導濃度計、水素気泡法により5分間隔でそれぞれ測定した。

3. 界面を通過する熱輸送量

界面を通しての熱の輸送は伝導、対流、セン断流によると考えられる。セン断流のない場合には、界面での熱輸送は伝導、対流であり、これらの量は塩分と温度の密度比の関数となることTurnerの実験により示されている。 $\rho_R = \rho_0 \beta \Delta T$ で、 $\Delta \rho$, ΔT は上下層間での塩分、温度差であり、 α は体積膨張係数、 β は塩分を密度に換算する係数である。界面を通して輸送される熱フラックスの測定値 H_m と、界面を通して伝導のみで輸送されると考えた熱フラックス $H = 0.085 K_r (8\alpha / K\rho)^{1/3} \Delta T^{2/3}$ で無次元化した ρ_R に対してプロットしたのが図-1である。図中実線はTurnerの実験結果をHuppertが整理して提案した式で $H_m/H = 3.8 \rho_R^{-2}$ である。 $\rho_R = 2$ で H_m はほぼ H 程度となるが、 $\rho_R < 2$ では伝導による H よりも H_m が大きくなり界面が対流に対して不安定となり対流による輸送が多くなり、 $\rho_R > 2$ では H_m は H より少なくなり熱輸送が安定界面の存在により抑制されることを示している。セン断流が存在する場合には $\rho_R > 2$ の領域で、セン断流が存在しない場合よりも $H_R = H_m/H$ は大きくなっている。しかし、 $Re = 230$ ではセン断流の無い場合とほぼ同程度の大きさである。又 $\rho_R < 2$ の領域ではセン断流の存在しない場での H_R と等しくなっている。これらの特性は実験範囲内の

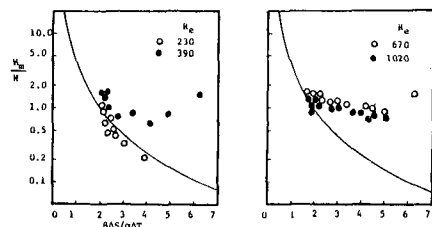


図-1 界面を通過する熱輸送量

レイノルズ数ではレイノルズ数による顕著な違いはなく、 HR は Pr によって余り変化しないことが知られる。 $Pr > 2$ の領域ではセン折流が無い場合には界面は安定で熱の輸送は伝導、分子拡散で生じることが、レイノルズ数が300を越えるセン折流の存在する場では、この領域においても界面変動が大きくなり、運行による上層への輸送がさらに加わるので、 HR が大きくなると考えられる。 $Pr < 2$ の領域ではセン折流が存在しない場合にも界面は不安定で変動が大きい移流混合が活発に生じているので、さらにセン折流が加わってもそれ以上の移流混合を生じさせることはないためと思われる。又 $Pr = 2$ 付近で界面はセン折流が存在する場合と熱的外乱が加わった場合では同程度に不安定となることを示している。

4. 塩分、熱の輸送量

界面では熱と共に塩分も輸送される。Turnerの実験によると図-3の実線のように、界面を通しての塩分の輸送量 βF_s と熱の輸送量 αF_t の比 $F_R = \beta F_s / \alpha F_t$ は $Pr > 2$ では0.15の一定値を示し、 $Pr < 2$ では Pr の減少と共に直線的に増加することが得られている。この結果は前述したように $Pr = 2$ を境にして界面の安定度が大きく変化する、輸送形態が変化することを示している。セン折流が存在する場合に熱、塩分の輸送量 βF_s 、 αF_t によってどのように変化するかを示したのが図-2である。図中黒丸は βF_s を示し、白丸は αF_t を示す。図から解るように、レイノルズ数が300

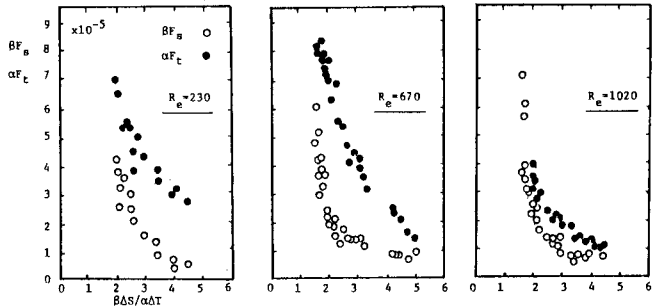


図-2 塩分、熱の輸送量

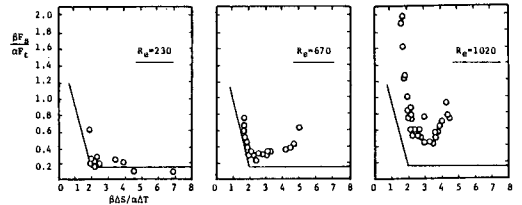


図-3 熱輸送と塩分輸送の比

以上の結果をTurnerに倣って、熱の輸送量と塩分の輸送量の比 $\beta F_s / \alpha F_t$ に対して整理したのが図-3である。図-2の内容を形を変えて示したに過ぎず、 $Pr < 3$ の領域では βF_s は αF_t に比べて増加の割合が大きく、 $Pr < 3$ の領域では βF_s はほぼ一定値で αF_t は漸減しているので F_R は $Pr = 3$ を極小値とした放物線形の変化をすることが知られる。又レイノルズ数の増加と共に拡散成分 αF_t の減少が大きいため F_R のレベルは大きくない。

5. 結論

低レイノルズ数でのセン折流の存在する場合の熱塩成層流界面の輸送現象について実験を行い、Turnerの結果と比較することにより次の結果を得た。i) $Pr > 2$ の領域ではセン折流が存在することにより、熱の輸送が伝導、拡散型に加えて運行によってもなされる。ii) $Pr < 3$ の領域では塩分の輸送量は熱輸送量に比べて増加の割合は大きく、 $Pr > 3$ の領域では塩分の輸送量はほぼ一定であるが熱輸送量は漸減すると共にレイノルズ数の増加によって量自体が減少する。

参考文献 1) J.S. Turner, Int. J. H. Vol. 8. 2) 浅枝隆、五井信行, 3rd Int. Syn. on Stochastic hydraulic 1980
3) 山本寛, 埼玉大学卒業論文, 1984